

长江中游马口—田家镇河段 40 年来河道演变

张 强¹, 施雅风^{1,2}, 姜 彤¹, 李茂田³

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;

3. 华东师范大学教育部地理信息开放实验室, 上海 200062)

摘要: 运用地理信息系统 (GIS) 与数字高程模型 (DEM) 分析了马口—田家镇河段 1963 年、1972 年与 2002 年河道地形数据, 较为系统地研究了该河段过去 40 年冲淤时空变化。研究结果认为, 1972 年与 1963 相比冲刷量达到 789.9 hm^3 , 冲刷面积为 $39.7 \times 10^4 \text{ m}^2$; 2002 年与 1963 年相比冲刷量达到 1196.5 hm^3 , 冲刷面积为 $59.4 \times 10^4 \text{ m}^2$; 2002 年与 1972 年相比冲刷量达到 960 hm^3 , 冲刷面积为 $54.3 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。由以上结果认为, 马口—田家镇河段近 40 年来以冲刷为主; 河道冲淤变化以马口卡口与田家镇卡口等窄深河段最为剧烈, 宽浅河段与顺直河段冲淤变化较为和缓, 冲淤变化幅度不大; 卡口上、下端以淤积过程为主, 而卡口顶冲水流的顶弯部位以冲刷过程为主。研究河段冲淤变化受上游来水来沙条件影响很大, 对未来三峡工程建成后, 三峡大坝下游来水来沙以及研究河段冲淤变化的影响研究提供借鉴。

关键词: 长江; 马口—田家镇河段; GIS; DEM 模型; 河道演变

1 引言

长江河床演变在生态演变, 特别在防洪抗灾与经济建设占有特殊地位。长江河道冲淤变化、河床演变及其对洪灾的影响问题一直受到人们的广泛关注^[1-5]。杨怀仁先生 (1995)^[4]应用 20 世纪 50 年代以来不同时期航、卫片研究了长江中下游河床演变, 认为长江中下游 30 年来河床侵蚀、淤积作用旺盛, 局部河段平面变形剧烈。潘庆桢^[5]系统研究了长江中下游 50 年来的河道演变状况, 认为长江中下游河道演变与冲淤基本平衡, 人为因素基本未改变河道演变的规律, 但其影响是逐步增加的。殷瑞兰对长江中游洪水水位增高的范围以及原因作了系统分析, 认为近代长江一些河段洪水水位增高的主要原因是人类活动的影响, 控制人类活动对河道的影 响是抑制洪水水位上涨的重要措施^[6]。在河道冲淤变化研究方法方面, 肖志远等利用 GIS 技术计算了城陵矶至螺山河段近 30 年的槽蓄量及冲淤时空变化^[7]。李义天等^[8]采用河道冲淤量计算中常用的输沙量法与地形法两种算法同时计算了螺山汉口河段的淤积量, 并对两种方法进行了比较研究。李茂田等^[9]利用地理信息系统 (GIS) 与数字高程模型 (DEM) 技术定量模拟 40 年来九江河段冲淤演变过程。国外对河道变迁的研究则主要集中于河床冲淤变化方面^[10-12], G.M. Kondolf 等 (2002)^[13]研究了由于河道沉积物上游物源减少导致的河床拓宽以及河道下切, 以及由此引起的河岸不稳定等后果, 并提出了相应的解决措施^[13, 14]。另外, 还有学者通过研究气候对河流水文状况的影响来研究气候变化对河道演变的间接影响^[15], Nicola Surian (2003)^[16]等分析了意大利河流在人类活动的干预下所发生的河床调整行为, 由于人类活动导致的沉积物供给变化, 使意大利河流河床演变主要表现为河底侵蚀与河床断面向窄深化方向发展。从不同

收稿日期: 2006-08-20; 修订日期: 2006-09-28

基金项目: 中国科学院南京地理与湖泊研究所所长专项研究基金 (S260018) [Foundation: Director Foundation for Nanjing Institute of Geography and Limnology, No.S260018]

作者简介: 张强 (1974-), 男, 博士, 主要从事气候变化与水资源、河道水沙输运、河床演变地貌水文效应等研究。

E-mail: zhangqiang@nju.org.cn

方面研究洪水来量、气候变化、人类活动等因素对河道演变、河床冲淤变化、河岸稳定性等影响极其反馈作用^[18]。Bravard 等^[20]则认为几百年来由于诸如航运、发电、防洪等社会需求改变了法国河流的演变进程，这些变化对生态、资源以及人类的利益是不利的，而这些问题均与流域系统的地貌机能有着直接或者间接的联系，因而认为建立一种可持续的、长期的河道管理策略已成为当务之急，并由此提出“工程地貌”这一新概念。由上述研究来看，河道冲淤变化以及由此而引起的河床演变作为河流地貌学的基础理论研究以及因其在流域生态、防洪等方面的重要意义，特别是三峡工程建成后对长江流域中下游河道冲淤变化、河道水沙输移等方面的影响，以及由此而带来的一系列生态、环境、江湖关系重构等问题，使长江中下游河道演变这一应用基础性科学问题引起学术界的重视。

长江中下游从汉口到田家镇全长 185 km，高程差 3.516 m，河床比降 0.000019，受断裂构造控制，每个河段基本呈“之”字状河流发育。长江从汉口到田家镇干流逐渐由江汉平原过渡到古老的丘陵地貌，从团风河段开始，两岸矶头众多，形成了较多的卡口，洪峰期间严重限制了洪水下泻。本文拟对长江中游武汉—九江河段中的马口—田家镇河段过去 40 年来的河道冲淤变化进行系统研究，以期对长江中下游河道演变研究、三峡工程对长江中下游河道冲淤变化影响等方面的研究提供借鉴。

2 研究区概况

马口卡口与田家镇卡口位于武汉—九江河段，该河段从地质构造上来讲，主要受北西南东走向的襄樊—广济断裂带的影响^[17-19]。在田家镇以及马口卡口附近有多处北西—东南走向的构造断裂，这一构造断裂对该区水系、湖泊有着明显的影响或者控制作用。该断裂带的存在加上狭口造成的水流加速，以及弯道形成的垂向涡流，导致马口与田家镇河段河床深槽的形成。同时，由研究河段地貌特征来看(图 1)，由于受北侧淮阳地盾强烈

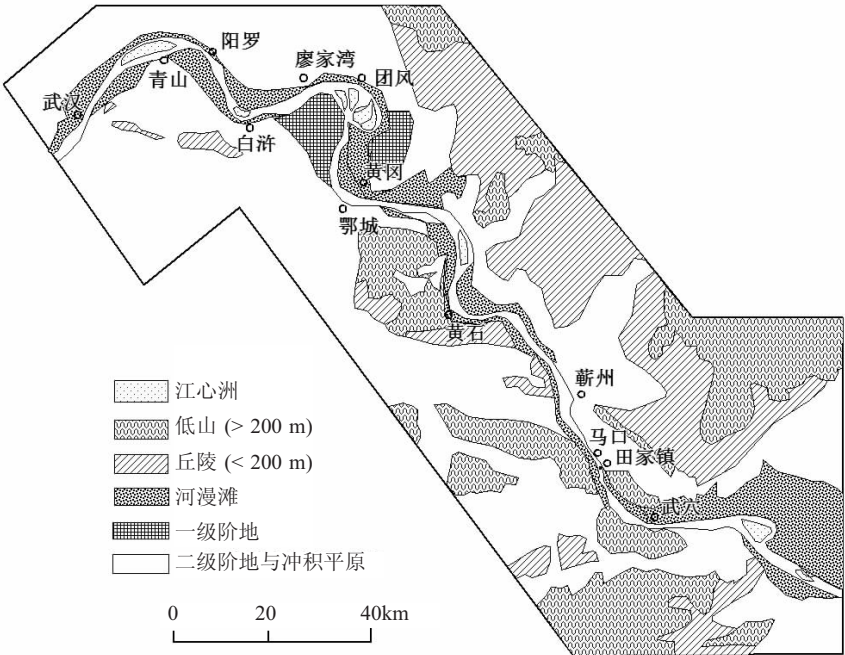


图 1 武汉九江河段地貌形态图 (根据文献[17]修改)

Fig. 1 Geomorphologic characteristics of the part of the Yangtze River between Wuhan and Jiujiang

隆起的影响, 河流从总体趋势上向南演化, 从地貌上主要表现为北岸多为河漫滩与冲积平原, 而南侧多为低山与丘陵区。由于山地较多, 出露的基岩对河床的演变起到了限制作用, 从而形成了多处河道狭口段。

本文选择马口与田家镇河段研究河道冲淤时空变化, 其主要原因在于: 1) 田家镇卡口仅宽 650 m, 卡口处河底高程为 -51 m (吴淞高程), 为长江中下游 20 多个矶头卡口中 最窄的一个; 2) 长江水利委员会^[20]对田家镇卡口的阻洪效应单独做了研究, 显示出田家镇卡口在长江中游防洪、河道演变乃至河道整治中的重要性; 3) 马口卡口宽度为 810 m, 卡口海拔高程为 -90.4 m (吴淞高程), 为长江中下游海拔高程最低的河段。河道束窄段 (河道卡口) 在稳定河势、河道演变、洪水下泄以及河床断面流速分布、河道水沙输运等理论与应用领域均具有重要意义。

3 数据与分析方法

3.1 数据

本文所用数据^[9]为 1963 年、1972 年和 2002 年三个时段上海至武汉长江下游航行图集 (海军航海保证部实测) 中的 1:10,000 马口—田家镇河段航行地形图, 地图投影为高斯克吕格投影, 6 度分带。50 m 水深采用 0、2、5、10、20、30、50 m 等 7 条等深线表示, 各等深线间距分别为 2、3、5、10、12 m。所有图件均经扫描、数字化后做成数据库。

3.2 分析方法

本文数据分析步骤可简述如下: 1) 将地图分幅扫描, 用 Arc/Gis 软件包将每幅图做校正、配准, 做成具有一定地理座标、统一地图投影的图幅, 然后将同一时段不同河段的图幅拼接; 2) 在 Arc/Gis 环境中将拼接的地图数字化, 做成不同时期河道数字化电子图集; 2) 在 Arc/Gis 操作环境中采集数字化后的河道原始高程数据, 做成河底高程数据库, 在 Surfer 中用 Kriging 插值法^[21, 22]将原始河道高程数据点做数值内插, 继而转化成栅格数据模型 (GRID), 进而生成数字高程模型 (DEM); 3) 在 DEM 的基础上, 形成二维等深图式与三维河道地形图; 4) 在 Surfer 中用 Slice 工具经 Grid 运算后可形成任意时段、任意断面的断面变化图式, 从而得以研究任意时段、任意断面的断面变化情况。任选所研究两个时段的 Grid 数据, 经叠加后, 可以得出一个时段与另外一个时段相比河道冲淤变化情况。这种方法可以直观而定量地显示任两个时段河道冲淤时空变化, 据此对马口—田家镇河段近 40 年河床演变作了较为系统的分析。

4 结果

4.1 马口—田家镇河段不同时期河道地形情况

由马口—田家镇河段 1963 年、1972 年与 2002 年三个时段河道地形三维立体图式与二维等深图可以看出 (图 2): 在较宽河段河道底部深度变化梯度较小, 而河道束窄段河道底部深度变化梯度较大。从等深线在河道的分布也可以看出, 在宽浅河段等线性分布相对稀疏, 表现出深度变化梯度较小的特点, 而在河道束窄段, 特别是在马口卡口与田家镇卡口两处等深线较密集。但在不同时期, 河道等线线分布稀疏程度又有所不同, 2002 年河道等深线分布无论是在宽浅河段还是在河道束窄段均较 1963 与 1972 年分布为稀疏, 显示出有淤积现象。从二维等深线分布图式来看, 研究河段较弯曲, 在弯顶 (如马口与田家镇附近河段) 上下端为深槽, 而在两湾之间的过渡段为河道较浅部位。在马口卡口以上的较为顺直的河段与田家镇卡口下游较为顺直的河段以及两个卡口之间的过渡段等深线较稀疏, 而在卡口附近弯顶上下端则为深度较大的深槽。

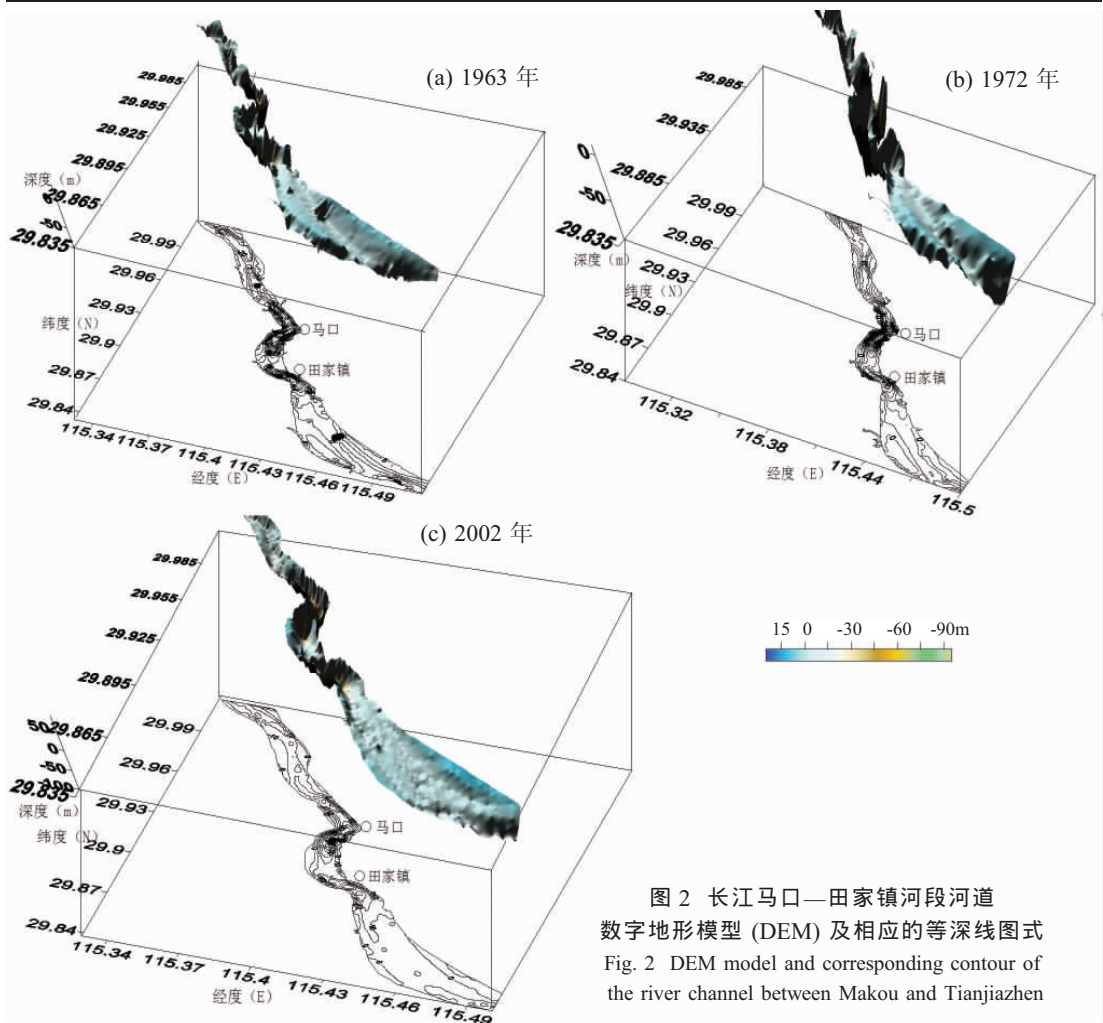
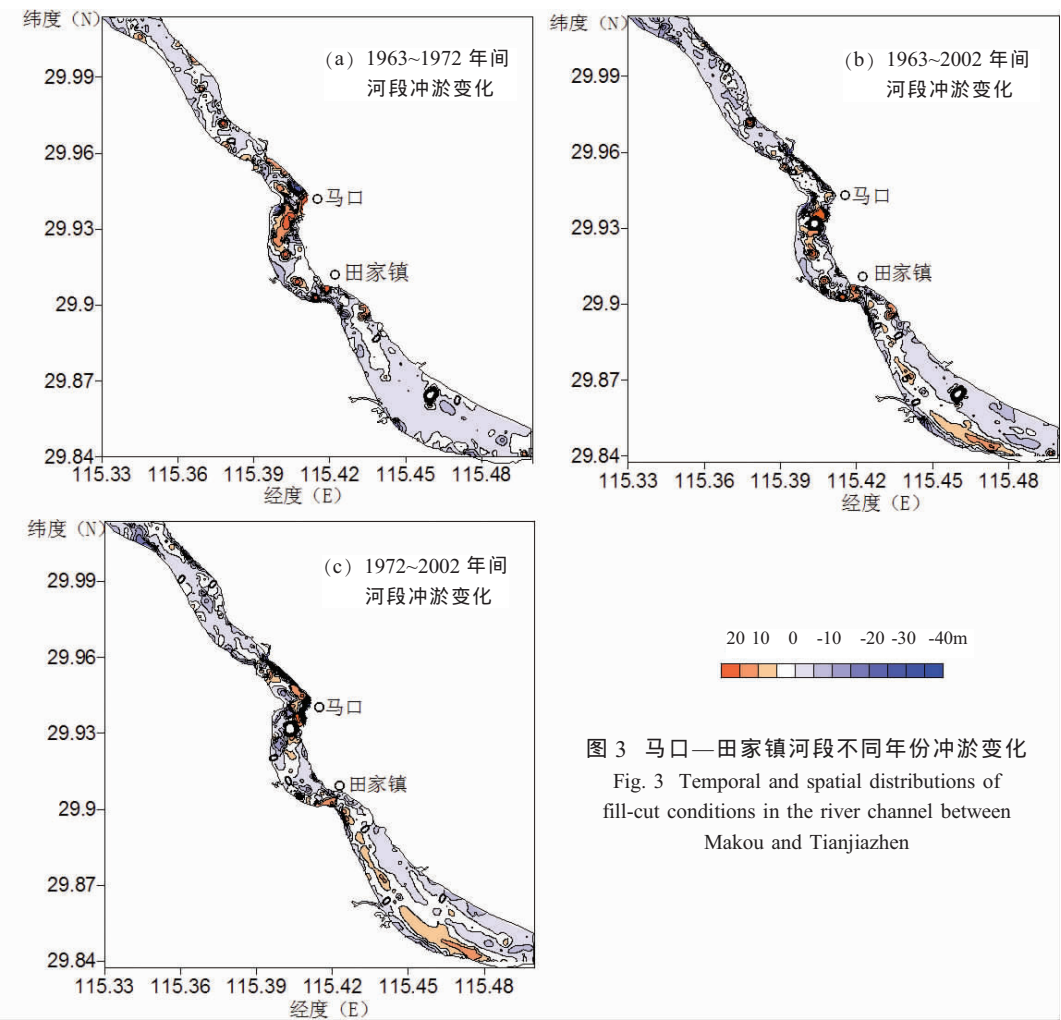


图 2 长江马口—田家镇河段河道数字地形模型 (DEM) 及相应的等深线图式
Fig. 2 DEM model and corresponding contour of the river channel between Makou and Tianjiazhen

4.2 冲淤变化

从不同时段河道冲淤变化情况时空分布看 (图 3a), 1972 年与 1963 年相比研究河段冲淤变化不大, 特别是在田家镇卡口下游的宽浅河段更是如此, 整体冲淤在 2.5~2.5 m 之间, 且无冲淤变化较大的区域, 冲淤变化较大的河段为马口与田家镇卡口附近河段, 马口卡口上端与下端为河道淤积区, 淤积深度在 5~10 m 之间, 而在卡口水流顶冲部位为冲刷区域, 冲刷深度在 -20~-30 m 范围内波动, 从图可以看出, 淤积面积较冲刷面积为大。而在马口上游河段冲淤变化较小, 但以冲刷为主, 冲刷深度在 -2.5~-10 m 之间波动, 仅有河道个别部位有淤积现象。在田家镇卡口附近河段冲淤变化与马口河段冲淤变化类似, 即在卡口上下端河段以淤积为主, 而在卡口水流顶冲部位以冲刷为主。但与马口卡口不同的是, 田家镇卡口以冲刷为主, 而在马口卡口以淤积为主。马口与田家镇之间的过渡河段上游来水顶冲部位以冲刷过程为主, 另外田家镇对岸河道部位也以冲刷过程为主。河道冲淤定量计算结果表明, 1972 年与 1963 年相比, 淤积量达到 492.9 hm³, 冲刷量达到 -789.9 hm³, 平均淤积速率 (总淤积量 / 总年数) 达 54.8 hm³/a, 平均冲刷速率 (总冲刷量 / 总年数) 为 -87.8 hm³/a, 净淤积量为 -297 hm³, 平均净淤积速率 (总净淤积量 / 总年数) 为 -33 hm³/a。从冲淤面积来看, 1972 年与 1963 年相比河道淤积面积为 36.9×10⁴ m², 而冲刷面积为 39.7×10⁴ m²。



2002 年与 1963 年河道冲淤情况相比 (图 3b), 河道冲淤变化以冲刷为主, 田家镇卡口下游宽浅河段与马口卡口上游顺直河段冲刷深度可达 $-5\sim -20\text{ m}$ 左右。淤积为主的河段主要集中在马口与田家镇卡口之间的过渡河段, 田家镇卡口下游宽浅河道也有较大面积的淤积河段。1972~1963 年时段与 1963~1963 年时段相比, 整个河段冲淤变化不显著的区域有所减少。冲淤变化不显著的河段主要集中在田家镇卡口下游的宽浅河段 (图 3a、b)。河道冲淤变化定量分析结果表明, 2002 年与 1963 年河道冲淤变化相比, 淤积量达到 494.5 hm^3 , 冲刷量达到 -1196.5 hm^3 , 平均淤积速率 (总淤积量 / 总年数) 达 $12.7\text{ hm}^3/\text{a}$, 平均冲刷速率 (总冲刷量 / 总年数) 为 $-30.7\text{ hm}^3/\text{a}$, 净淤积量为 -702.1 hm^3 , 平均净淤积速率 (总净淤积量 / 总年数) 为 $-18\text{ hm}^3/\text{a}$ 。2002 年与 1963 年相比, 河道淤积面积为 $39.6\times 10^4\text{ m}^2$, 而冲刷面积为 $59.4\times 10^4\text{ m}^2$, 冲刷区域大于淤积区域。

从 2002 年与 1972 年河道冲淤变化情况相比 (图 3c), 田家镇卡口冲淤变化较小, 而马口卡口仍是冲淤变化幅度较大的河段, 冲淤变化幅度可达到 $-30\sim 20\text{ m}$ 。田家镇卡口下游的宽浅河段冲淤变化幅度变小, 但冲淤变化空间位置未发生根本变化。1972~2002 年时段河道冲淤变化较 1963~1972 年以及 1963~2002 年等时段的冲淤变化幅度为和缓, 无论是冲刷还是淤积, 其变化幅度均较前两期河道冲淤变化幅度为小, 其变化幅度为 $-5\sim 10\text{ m}$ 。定量分析结果表明: 随着时间的推移, 研究河段冲淤变化幅度有所减少, 但是冲淤变

化发生的河道空间位置未发生根本性的移动, 但宽浅河段冲淤变化幅度有增加的趋势, 而在窄深河段, 特别是马口与田家镇卡口等典型窄深河段冲淤变化幅度则有减少趋势。河道冲淤定量分析结果表明, 2002 年与 1972 年河道冲淤变化相比, 淤积量达到 554.9 hm^3 , 冲刷量达到 -960 hm^3 , 平均淤积速率 (总淤积量 / 总年数) 达 $18.5 \text{ hm}^3/\text{a}$, 平均冲刷速率 (总冲刷量 / 总年数) 为 $-32 \text{ hm}^3/\text{a}$, 净淤积量为 -405 hm^3 , 平均净淤积速率 (总净淤积量 / 总年数) 为 $-13.5 \text{ hm}^3/\text{a}$ 。从河道冲淤面积来看, 2002 年与 1972 年相比河道淤积面积为 $34.9 \times 10^4 \text{ m}^2$, 而冲刷面积为 $54.3 \times 10^4 \text{ m}^2$, 冲刷区域大于淤积区域。由上综合分析可知, 随着时间的推移, 研究河段总体为冲刷, 但冲刷程度增加, 这一点值得引起足够重视。

4.3 断面变化

为进一步分析 1963 年、1972 年、2002 年三个时段河床冲淤变化情况, 现取马口附近横断面 (图 5a)、田家镇附近横断面 (图 5b) 以及研究河段最宽的河段横断面 (图 5c) 分析单个断面深度变化情况, 另外分析了纵跨马口卡口与田家镇卡口的纵断面来分析河道窄深河段与卡口上下端与卡口之间过渡河段断面变化情况 (图 4)。

分析结果表明断面 1 深度总体讲变化不大 (图 5a), 河道较深部位与靠近河岸河道较浅部位不同时期断面深度变化有所差异, 较深的河道部位断面变化较大, 不同时期断面深度交错, 有冲有淤, 但从总体上来看以冲刷为主, 随着时间的推移, 断面深度有增加的趋势, 特别是在较深的河道部位表现尤为明显, 变化幅度达到 $-2 \sim 5 \text{ m}$ 。这一现象也可以从断面 2 看出 (图 5b), 与断面 1 有所不同的是, 断面 2 (2002 年田家镇卡口) 刷深较明显, 最大刷深幅度 2002 年与 1963 年相比刷深达 12 m 左右, 与 1972 年相比达到近 -20 m 的刷深幅度。但是靠近河岸的部位断面形状变化不明显, 断面 3 (图 5c) 为田家镇卡口下游宽浅河段中最宽的河段断面变化情况。与前两个断面的断面形态变化相一致, 即在较浅的河床部位断面变化较小, 而在较深的河床部位断面变化幅度较大, 1972 年与 1963 年相比, 断面深度减小约 20 m 左右, 而在较浅的河床部位冲淤深度变化达到 $1 \sim 3 \text{ m}$ 这一范围。纵剖面变化 (图 5d、e) 深度与横断面深度变化有类似特点。较浅的河床部位深度变化不明显, 冲刷与淤积变化幅度在 $1 \sim 2 \text{ m}$ 左右。较深的河床部位纵断面深度变化较大, 最大可达 10 m 左右。马口卡口的纵剖面在河道较深部位, 冲淤变化幅度可达 30 m 多 (图 5d-e)。马口卡口与田家镇卡口之间的过渡河段断面深度变化较小, 在 $1 \sim 5 \text{ m}$ 左右, 而在马口卡口下端断面深度变化较大, 马口卡口及其上下端是冲淤变化幅度与强度较大的区域 (图 3)。

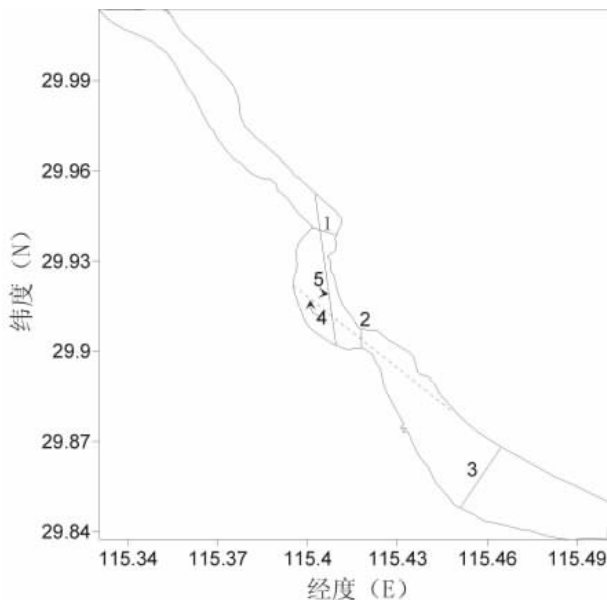


图 4 长江中游马口—田家镇河段断面位置图

Fig. 4 Location of the cross sections analyzed in Fig. 5

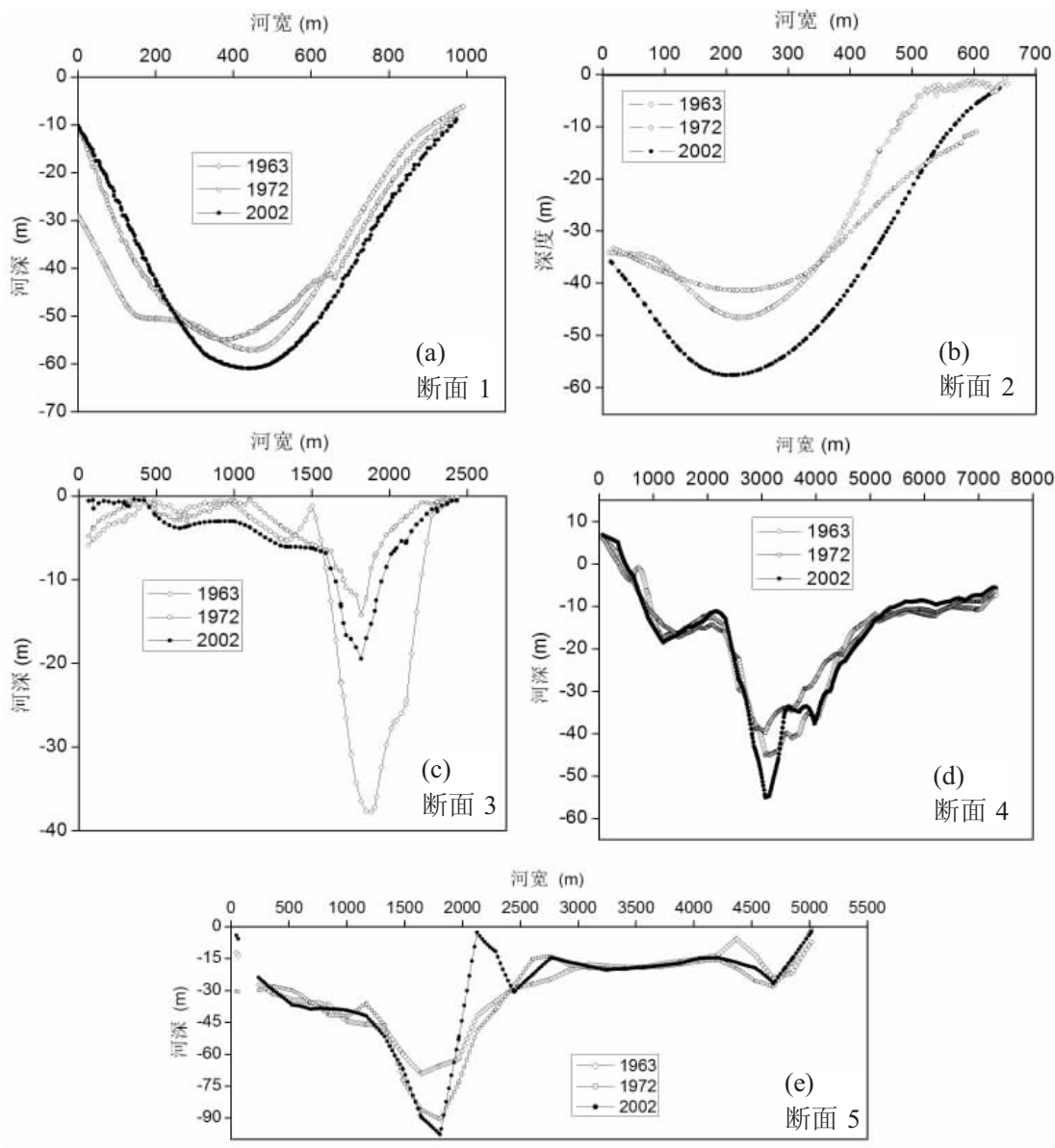


图 5 长江中游马口—田家镇河段不同断面深度变化

(图中断面 1~3x 轴座标起点为河岸右岸，断面 4 与断面 5 中 x 轴座标为距断面上游起始点距离)

Fig. 5 Changes of river depth of the cross section demonstrated in Fig. 3

5 结论与讨论

(1) 研究河段河道冲淤时空变化是与研究河段上游来水来沙状况相联系，并决定于研究河段不同河道断面几何形态下水动力学差异因素，长江流域上游乃至中游土地利用方式，特别是植被变化情况以及水利设施建设运用情况均对中下游河道水沙输运与河道冲淤变化有着重要的影响。汉口站 1954~2000 年年输沙量时序变化以及 Mann-Kendall 趋势分析结果表明 (图 6)^[23]，汉口站年输沙量在 1954~1966 年期间有轻微上升趋势，但这一趋

势在统计上并未达到 >95% 的置信度水平, 而 1966 年以后汉口站年输沙量呈下降趋势, 在大约 1998 年以后, 汉口站年输沙量下降趋势在统计上达到 >95% 的置信度水平。汉口站年输沙量变化趋势与研究河段冲淤变化研究结果可以相互印证。本文研究认为, 随着时间的推移 (从 1963~2002 年), 研究河段由以冲刷量较小向冲刷量较大发展的趋势与上游来沙量逐年减少有着密切联系。但是, 应该注意的是, 河道悬沙在河道的搬运、沉积与再搬运、再沉积过程是一个复杂的动态过程, 上游水土流失以及水利设施的运用对下游河道冲淤时空变化的影响将通过这一动态过程而实现, 因而, 将来将通过利用更多时段河道地形图做更为详细的研究, 以论证研究河段上游水沙变化对研究河段河道冲淤时空变化影响。

(2) 河道冲淤变化在不同时段、不同河道部位, 其变化幅度是不同的, 总起来讲, 在窄深河段 (如马口卡口与田家镇卡口河段), 冲淤变化较大, 冲淤速率最大可达 1 m/a 左右, 而在较顺直河段与宽浅河段冲淤变化幅度小, 仅为 0.06~0.1 m/a 左右, 因而在窄深河段河道冲淤变化幅度 (指深度变化幅度) 是宽浅河道冲淤变化幅度的 10 倍左右。河道卡口上端与下端以淤积过程为主, 而在卡口水流顶冲的弯顶部位则以冲刷过程为主。在宽浅河段发生冲淤过程的空间位置变化不明显, 只是在不同时段冲淤变化幅度有所改变。这一研究结果证实了在窄深河段最大流速大于宽浅河段, 从而使水流携沙力大, 水流含沙处于不饱和状态, 而在卡口上下端则相反, 这也与实测结果相一致^[24], 从而导致河道冲淤时空变化在卡口与卡口上下端表现出较大差异性。

(3) 地表物质输移的过程模拟、动态分析与数值模拟是现代地理学研究的热点, 也是将来地理科学研究的主流。本文用 1963 年、1972 年与 2002 年研究河段三期河道地形图对近 40 年来研究河段河道冲淤变化过程做了系统的分析与研究。将来可用更高时间分辨率的河道地形图, 更为详尽地对研究河段乃至整个长江中下游不同河道断面形态、窄深河段与宽浅河段河道冲淤变化过程与可能水动力学机理开展理论与应用研究, 从而为长江流域水利设施建设, 特别是三峡工程建成后对长江中下游河道冲淤时空变化过程、河道水沙输运、流域江湖互动关系、沿岸湿地生态、防洪等的影响进行评估, 从而制订相应对策等方面提供科学依据与理论支撑。

(4) 本研究有三个主要结论: 1) 近 40 年来, 研究河段总体上表现为冲刷趋势; 2) 卡口河段河床演变幅度在同样来水来沙的情况下具有深水大浅水小的特点; 3) 近 40 年来, 研究河段冲淤幅度变化在河道不同位置有所不同, 窄深河段河道冲淤变化幅度大于宽浅河段冲淤变化幅度。上述两点与研究河段上游来沙变化趋势有密切关系, 同时也取决于与河道断面不同几何形态相联系的不同水动力学特征。

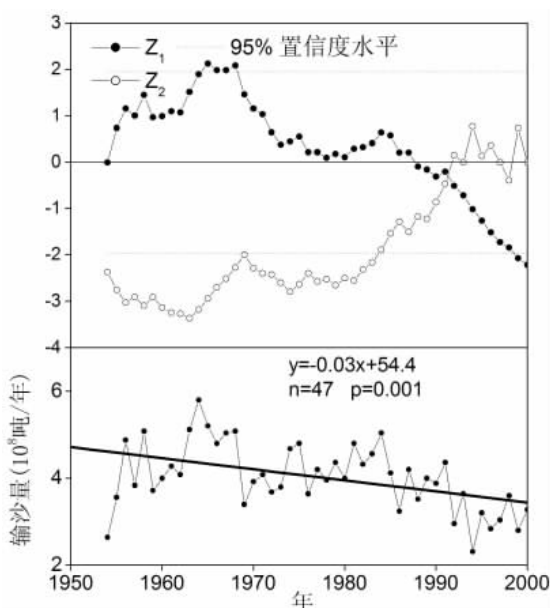


图 6 汉口站 1954~2000 年年输沙量变化

Mann-Kendall 趋势

(Z_1 曲线的波动表明序列上升或者下降, Z_1 值大于零表示序列上升, 反之则表示序列下降, 当 Z_1 曲线超过临界线时, 表明上升或者下降的趋势显著, 即达到某一置信度水平, 本文为 95% 置信度水平。如果 Z_1 与 Z_2 两曲线出现交点, 且交点在临界线之间, 则交点对应的时间为序列突变开始的时间。)

Fig. 6 Sediment load changes at Hankou station during 1954-2000 and Mann-Kendall trend test result

参考文献 (References)

- [1] Shi Guoyu, Xu Quanxi, Chen Zefang. Analysis on channel scouring and silting and self-adjusting in midstream and downstream reaches of Changjiang River. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(3): 257-265. [石国钰, 许全喜, 陈泽方. 长江中下游河道冲淤与河床自动调整作用分析. *山地学报*, 2002, 20(3): 257-265.]
- [2] Zhu Li, Cai Hesheng. Recent channel evolution and major factors controlling it in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 1995, 20(4): 427-432. [朱立, 蔡鹤生. 长江中下游近期河道演变及其主要影响因素. *地球科学*, 1995, 20(4): 427-432.]
- [3] Pan Qingshen, Lu Jinyou. Changes of river channel in the middle Yangtze River. *Yangtze River*, 1999, 30(2): 32-35. [潘庆荣, 卢金友. 长江中游近期河道演变分析. *人民长江*, 1999, 30(2): 32-35.]
- [4] Yang Huairan, Xu Xin, Yang Dayuan et al. *Environment Evolution and Geo-ecological System in the Middle and Lower Yangtze River*. Nanjing: Hohai University Press, 1995. 161-183. [杨怀仁, 徐馨, 杨达源 等. 长江中下游环境变迁与地生态系统. 南京: 河海大学出版社, 1995. 161-183.]
- [5] Pan Qingshen. Study on evolution of middle and lower reaches of Yangtze River in recent fifty years. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2002, 18(5): 18-22. [潘庆荣. 长江中下游河道近 50 年变迁研究. *长江科学院院报*, 2002, 18(5): 18-22.]
- [6] Yin Ruilan. Preliminary probe into variation of flood water level at middle reaches of Yangtze River. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2002, 19(1): 48-51. [殷瑞兰. 长江中游洪水水位变化初探. *长江科学院院报*, 2002, 19(1): 48-51.]
- [7] Xiao Zhiyuan, Guo Haijin, Xu Delong et al. Computation of channel storage capacity and scouring and silting variation of the Yangtze River from Chenglingji to Luoshan. *Yangtze River*, 2003, 34(1): 38-56. [肖志远, 郭海晋, 徐德龙 等. 城陵矶至螺山河段槽蓄量及冲淤变化计算. *人民长江*, 2003, 34(1): 38-56.]
- [8] Li Yitian, Deng Jinyun, Sun Zhaohua et al. Calculation of deposition in Luoshan-Hankou reach using sediment-transport balance and topographic change methods. *Journal of Sediment Research*, 2002, (4): 20-24. [李义天, 邓金运, 孙昭华 等. 输沙量法和地形法计算螺山汉口河段淤积量比较. *泥沙研究*, 2002, (4): 20-24.]
- [9] Li Maotian, Yu Xia, Chen Zhongyuan. Evolution and developing trend of the Jiujiang River course of the Yangtze River in recent forty years. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1): 76-82. [李茂田, 于霞, 陈中原. 40 年来长江九江河段河道演变及其趋势预测. *地理科学*, 2004, 24 (1): 76-82.]
- [10] Gregory K J, Davis R J, Downs P W. Identification of river channel change due to urbanization. *Applied Geography*, 1992, 12: 299-318.
- [11] James A. Incision and morphologic evolution of an alluvial channel recovering from hydraulic mining sediment. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1991, 103: 723-736.
- [12] Richard A Marston, Jean-Paul Bravard, Tim Green. Impacts of reforestation and gravel mining on the Malnant River, Haute-Savoie, French Alps. *Geomorphology*, 2003, 1380: 1-10.
- [13] Kondolf G M, Piegay H, Landon N. Channel response to increased and decreased bed-load supply from land use change: contrasts between two catchments. *Geomorphology*, 2002, 45: 35-51.
- [14] Madej M A, Ozaki V. Channel response to sediment wave propagation and movement, Redwood Creek, California, USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1996, 21: 911-927.
- [15] Sear D A, Newson M D. Environmental change in river channels: neglected element towards geomorphological typologies, standards and monitoring. *The Science of the Total Environment*, 2003, 310: 17-23.
- [16] Nicola Surian, Massimo Rinaldi. Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 2003, 50: 307-326.
- [17] Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Institute of Water Resources and Hydropower Research of Yangtze River, Institute of Planning and Design of the Bureau of Navigation. *Features and Evolution of the River Channel in the Middle and Lower Yangtze River*. Beijing: Science Press, 1985. 90-91. [中国科学院地理研究所, 长江水利水电科学研究所, 长江航道局规划设计研究所. 长江中下游河道特性及其演变. 北京: 科学出版社, 1985. 90-91.]
- [18] Shi Yafeng, Zhang Qiang, Jiang Tong et al. River blocks and their impacts on flood discharge in the middle Yangtze River between Wuhan and Jiujiang. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19(4): 500-505. [施雅风, 张强, 姜彤 等. 长江中游武汉—九江河段河道卡口及其阻洪可能效应探讨. *地球科学进展*, 2004, 19(4): 500-505.]
- [19] Shi Yafeng, Zhang Qiang, Chen Zhongyuan et al. Features of deep trough at Tianjiazhen reach and its impacts on flood discharge in the Yangtze River. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 425-432. [施雅风, 张强, 陈中原 等. 长江中游田家镇深槽的特征以及泄洪影响. *地理学报*, 2005, 60(5): 425-432.]

- [20] Hong Qingyu. Flood Control of Rivers in China: The Yangtze River. Beijing: Press of China Water Resources and Hydropower, 1998. 186-188. [洪庆余. 中国江河防洪丛书: 长江卷. 北京: 中国水利水电出版社, 1998. 186-188.]
- [21] Cressie N A C. The origins of Kriging. *Mathematical Geology*, 1990, 22: 239-252.
- [22] Isaaks E H, Srivastava R M. An Introduction to Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561.
- [23] Zhang Qiang, Xu Chongyu, Stefan Becker, et al. Sediment and runoff changes in the Yangtze River basin during past 50 years. *Journal of Hydrology*, 2006, 331: 511 – 523.
- [24] Shi Yafeng, Zhang Qiang, Chen Zhongyu et al. Channel morphology and its impact on flood passage, the Tianjiazhen reach of the middle Yangtze River. *Geomorphology*, 2006, doi:10.1016/j.geomorph.2006.03.019.

Channel Changes of the Makou–Tianjiazhen Reach during the Past 40 Years in the Middle Yangtze River

ZHANG Qiang¹, SHI Yafeng^{1,2}, JIANG Tong¹, LI Maotian³

(1. *Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China;*

2. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;*

3. *Laboratory of Geographic Information Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)*

Abstract: Quantitative analysis was performed on filling and scouring process for the river reach between Makou and Tianjiazhen, the middle Yangtze River with the help of GIS and DEM technology. The research results indicate that the river reach between Makou and Tianjiazhen was dominated by the scouring process, and the magnitude of scouring is increasing over time. The intensity of scouring process is more in the deep and narrower river reach than shallower and wider ones. The river reach in the Makou and Tianjiazhen river knot is in frequent scouring and filling process, however the river reach upper to the Makou and lower to the Tianjiazhen river knot is in moderate scouring and filling process. The river reach just upstream or downstream to the river knot (e.g. Makou and Tianjiazhen river knot in this research) is dominated by filling process and the river reach in the river knot is dominated by scouring process. Research results indicate no changes happen in the boundary of the river but the scouring and the filling magnitude in specific river channel is strong. The filling and scouring process of the study river reach is greatly impacted by the sediments and water from the upstream of the study river reach. The construction of the Three Gorges Dam just upstream to Yichang will cause further decrease of the release of sediment load to the middle and the lower Yangtze River basin, which will further intensify the scouring process of the river channel in the study river reach.

Key words: Makou-Tianjiazhen river reach; GIS; DEM; changes of river channel